

# 任意极化波的传输效率对天线测量的影响

田唯人, 李娟妮

(西北电子设备研究所, 陕西西安 710065)

**摘要:** 在测量圆极化天线辐射特性时, 无论采用何种极化的测试信标天线, 都会存在极化损失, 即功率传输效率小于1, 由此引入的测量误差是信标天线及待测天线极化特性的函数, 因此需要对测量数据进行误差分析以及适当的修正。文中导出了任意两个椭圆极化波在一般情况下功率失配因子随轴比 $\gamma$ 和轴倾角 $\tau$ 变化的计算公式, 对工程中常见的几种情况进行了定量分析计算, 讨论了功率失配校正因子的取值范围, 以及对天线辐射特性测量精度的影响。

**关键词:** 椭圆极化; 传输效率; 极化隔离度; 圆极化轴比

中图分类号: TN822+.4 文献标识码: A 文章编号: 1672-2337(2008)04-0305-06

## Transmission Efficiency of Two Arbitrary-Polarization Waves and Its Effects on Antenna Measurements

TIAN Wei-ren, LI Juan-ni

(The North-West China Research Institute of Electronic Equipment, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** The calculation formula of the transmission efficiency between two arbitrary-polarization waves with axial-ratio  $\gamma$  and polarization angle  $\tau$  have been derived. The effects of transmission loss on antenna radiation properties are discussed for different engineering applications.

**Key words:** circular polarization; transmission efficiency; isolation; axial-ratio

### 1 引言

极化是微波天线中极为重要的参量, 通常分为线极化和圆极化两种方式, 标志着电磁波在传输过程中的电场矢量方向特性。人们习惯上把椭圆极化称作圆极化<sup>[1-2]</sup>, 而引入椭圆极化的两个重要参数: 轴比 $\gamma$ 和轴倾角 $\tau$ , 以衡量椭圆的程度。天线极化特性的优劣取决于椭圆极化的轴比是否最佳, 即线极化最佳 $\gamma = \infty$ , 圆极化最佳 $\gamma = 1$ 。

空间传输的任意两个椭圆极化波失配意味着轴比和轴倾角的差异造成功率传输达不到100%, 有一定的极化匹配损耗, 而这部分就构成了交叉极化分量, 因此在天线测量中会影响到增益、极化隔离度以及辐射方向图的测量精度。用于通信或测控时, 两种极化波都应当是最佳匹配的, 即极化不匹配引起的功率失配损耗最小。极化失配的几种情

况为: ①两个线极化电场方向不一致; ②线极化与椭圆极化失配; ③两个椭圆的极化轴比 $\gamma$ 和轴倾角 $\tau$ 不一致。

在工程测量中遇到的馈源系统线极化隔离度不理想主要是馈源以及测试附件本身的正交性偏差以及高次模引起的, 圆极化轴比不理想还与系统的反射特性<sup>[3-4]</sup>、极化器移相量不等于90°的偏差以及构成圆极化的两个线极化传输路径损耗的微小差异因素等有关。

### 2 椭圆极化轴比 $\gamma$ 和轴倾角 $\tau$ 的一般表示及应用

如图1所示, 假设两个线极化电场 $E_x$ 、 $E_y$ 沿 $+Z$ 轴方向传输, 合成电场随时间变化的轨迹是一个长轴与 $x$ 轴夹角为 $\tau$ , 长短轴之比为 $\gamma$ 的椭圆。

设 $\rho = |E_y/E_x|$ ,  $\delta$ 为 $E_y$ 超前 $E_x$ 的相位角,

则  $\gamma$  和  $\tau$  的表达式如下:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} 2\tau &= \frac{2\rho \cos \delta}{1 - \rho^2} \\ \tau_0 &= \frac{1}{2} \operatorname{tg}^{-1} \left[ \frac{2\rho \cos \delta}{1 - \rho^2} \right], \quad -45^\circ \leq \tau_0 \leq 45^\circ \quad (1) \end{aligned}$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{1 + \rho^2 \operatorname{tg}^2 \tau + 2\rho \cos \delta \operatorname{tg} \tau}{\rho^2 + \operatorname{tg}^2 \tau - 2\rho \cos \delta \operatorname{tg} \tau}} \quad (2)$$

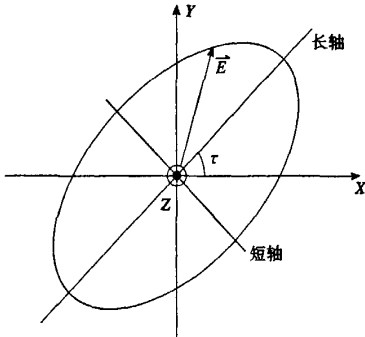


图1 椭圆极化

比较轴比  $\gamma$  式中分子和分母的大小, 得到  $\gamma > 1$  对应的轴倾角  $\tau$  的表达式为

$$\tau = \begin{cases} \tau_0, & \rho < 1 \\ \tau_0 + 90^\circ, & \rho > 1, \cos \delta > 0 \\ \tau_0 - 90^\circ, & \rho > 1, \cos \delta < 0 \\ 45^\circ, & \rho = 1, \cos \delta > 0 \\ -45^\circ, & \rho = 1, \cos \delta < 0 \end{cases} \quad (3)$$

几种特殊情况:

- (1)  $\rho = \infty$ , 线极化, 电场只有  $E_y$  分量;  
 $\rho = 0$ , 线极化, 电场只有  $E_x$  分量。

- (2)  $\rho = 1$  的椭圆极化

$E_x$  与  $E_y$  幅度大小相等:

$$\begin{cases} \tau = 45^\circ, \gamma = \operatorname{ctg} \frac{\delta}{2}, \cos \delta > 0 \\ \tau = -45^\circ, \gamma = \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}, \cos \delta < 0 \end{cases} \quad (4)$$

图2示出  $\rho = 1$  时轴比  $\gamma$  随相位角  $\delta$  变化的曲线。当相位角  $\delta = 90^\circ$  时轴比  $\gamma = 1$ , 是一种理想的圆极化。在波导极化器中, 激励线极化在  $\tau = 45^\circ$  方向, 采用介质或者螺钉(在  $E_x$  或  $E_y$  方向)实现电场移相  $90^\circ$ , 因此可以由式(4)判断出, 当长轴(电场最大)方向与线极化激励一致时(即  $\tau = 45^\circ$ ), 极化器的移相量小于  $90^\circ$ ; 反之, 当短轴(电场最小)方向与线极化激励一致时( $\tau = -45^\circ$ ), 极化器的移相量大于  $90^\circ$ , 依次作为实验调试过程中判断极化器移相量调整方向的依据。

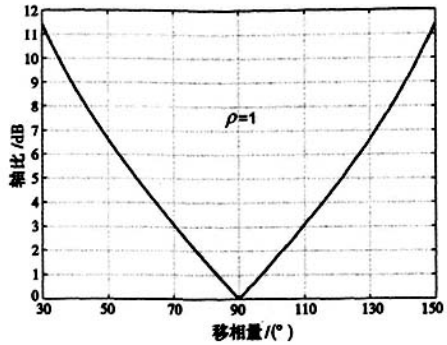


图2 轴比  $\gamma$  与  $\delta$  的关系

### (3) $\rho \neq 1$ 的椭圆极化情况

从式(3)容易看出,  $\delta < 90^\circ$  时轴倾角  $\tau$  在  $0 \sim 90^\circ$  范围,  $\delta > 90^\circ$  时轴倾角  $\tau$  在  $0 \sim -90^\circ$  范围, 意即椭圆极化轴倾角方向(电场最大)与激励线极化夹角小于  $45^\circ$  时, 表示极化器的移相量小于  $90^\circ$ 。轴倾角方向(电场最大)与激励线极化夹角大于  $45^\circ$  时, 表示极化器的移相量大于  $90^\circ$ 。

## 3 任意极化功率匹配因子的计算方法

如图3所示, 表示电磁波极化<sup>[2]</sup>的 Poincaré 极化球面上任意一点的经度为  $2\tau$ , 纬度为  $2\epsilon$ , 与椭圆极化参量的关系为

$$\epsilon = \operatorname{tg}^{-1} \frac{1}{\pm \gamma}, \quad -45^\circ \leq \epsilon \leq +45^\circ \quad (5)$$

左旋极化波  $\gamma$  及  $\epsilon$  取正值, 右旋极化波  $\gamma$  及  $\epsilon$  取负值。天线极化定义为天线发射时辐射波的极化状态。如图4所示, Poincaré 极化球上表示天线极化的点  $Ma$  对任意极化点  $M$  的空间角度为  $MMa$ , 作者导出了工程应用最方便直观的功率匹配因子  $F$  计算式如下:

$$\begin{aligned} F &= \cos^2 \frac{MMa}{2} = \\ &= \frac{1}{2} [1 + \cos 2\epsilon_1 \cos 2\epsilon_2 \cos 2(\tau_2 - \tau_1) + \sin 2\epsilon_1 \sin 2\epsilon_2] \end{aligned} \quad (6)$$

式中,  $\epsilon_1, \tau_1$  和  $\epsilon_2, \tau_2$  分别是两个波的极化状态参数。利用式(6)可以十分方便地计算任意两个极化波之间功率传输效率。当两个极化完全匹配时,  $F = 1$ , 功率传输达到 100%; 完全失配时,  $F = 0$ , 两个极化波之间功率传输为 0。两个极化波的隔离度为:  $XPI = -10 \lg F$ 。

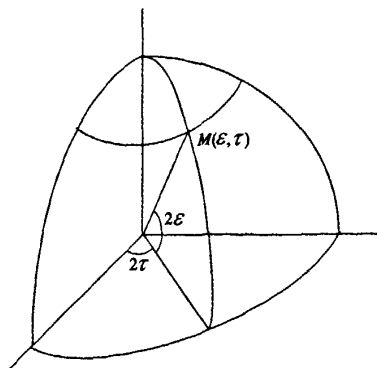


图3 Poincaré极化球

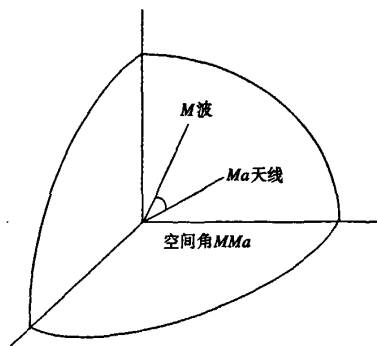


图4 两个极化波

#### 4 极化失配分析及其在工程中的应用

在工程或测量<sup>[5]</sup>中可能遇到的三种情形为线极化对应线极化、线极化对应圆极化和圆极化对应圆极化。下面分别予以讨论。

##### 4.1 线极化与线极化的功率失配分析

$\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0$ , 代入式(6)得到:

$$F_{LL} = \cos^2(\tau_2 - \tau_1) = \cos^2 \Delta\tau \quad (7)$$

显然,当两个线极化方向一致时,  $\Delta\tau = 0$ ,  $F_{LL} = 1$ , 完全匹配;当两个线极化方向正交,  $\Delta\tau = 90^\circ$ ,  $F_{LL} = 0$ , 完全失配,  $XPI = \infty$  dB, 即互为交叉极化。

由于通信卫星与地面不同地点的经纬度的差异,因此星载天线对地面不同处的线极化方向也不同。为了消除极化损失,使得  $\Delta\tau = 0$ , 获得最大的传输效率,地面站的线极化天线一般都配有调整线极化方向的装置。

在天线增益测量中,线极化不匹配引入的测量误差为  $20 \lg[\cos \Delta\tau]$  dB, 当  $\Delta\tau \leq 8.68^\circ$  时极化损

失造成的测量误差  $\leq 0.1$  dB。在正交极化隔离度测量中,当  $\Delta\tau \neq 90^\circ$  时极化隔离度至少变差为  $-20 \lg[\cos \Delta\tau]$  dB, 当  $|\Delta\tau - 90^\circ| \leq 1.812^\circ$  时隔离度至少变差为 30 dB。线极化不匹配对多频段天线主极化辐射方向图尤其是第一旁瓣测试结果有很大影响<sup>[6]</sup>。

##### 4.2 线极化与圆极化的功率失配分析

这种情况一般在测量圆极化天线的轴比<sup>[3-5]</sup>, 主极化辐射方向图以及天线增益测量中遇到。

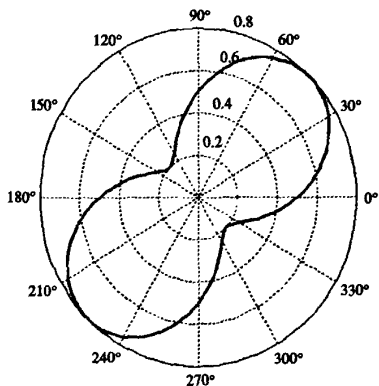
令  $\epsilon_1 = 0, \tau_1 = 0$ , 即极化 1 为线极化, 极化 2 为圆极化, 则

$$F_{LC} = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{\gamma^2 - 1}{\gamma^2 + 1} \cos 2\Delta\tau \right] \quad (8)$$

由于椭圆极化与线极化不匹配,  $F$  随轴倾角与线极化的夹角  $\Delta\tau$  变化, 功率损失了  $10 \lg F$  dB。  $\Delta\tau = 0$ ,  $F$  最大;  $\Delta\tau = 90^\circ$ ,  $F$  最小,  $F_{\max} - F_{\min}$  dB 等于圆极化轴比分贝数。图 5 示出了  $F_{LC} \sim \Delta\tau$  以  $\gamma$  为参量的极化图, 它表示采用线极化信标测试圆极化轴比和轴倾角  $\tau$  时的极化图。图 6 示出了  $F$  随轴比  $\gamma$  变化的取值范围。表 1 列出几种不同圆极化轴比时  $F$  随轴倾角变化的最大值和最小值。

表 1 几种不同圆极化轴比时  $F$  随轴倾角变化的最大值和最小值

圆极化轴比 $\gamma$	$F_{\max}$ /dB	$F_{\min}$ /dB
1.06(0.5 dB)	-2.767	-3.267
1.122(1 dB)	-2.54	-3.54
1.19(1.5 dB)	-2.32	-3.82
1.78(5 dB)	-1.19	-6.19
2(6 dB)	-0.97	-6.97
3.16(10 dB)	-0.41	-10.41

图5  $F_{LC} \sim \Delta\tau$  极化图

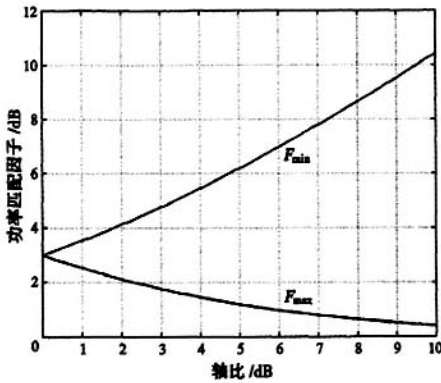


图6 线-圆极化的匹配

4.2.1 圆极化天线增益测量分析

在比较法测量圆极化天线增益<sup>[5]</sup>时,通常采用线极化信标和线极化标准增益喇叭,计算天线增益时极化损失为 $10\lg F$  dB,当 $\Delta\tau=45^\circ$ 即椭圆极化轴倾角与线极化的夹角为 $45^\circ$ 时极化损失 $F=3$  dB。如果采用圆极化信标,则信标天线与线极化标准增益喇叭之间也必然产生极化失配,在计算天线增益时同样需要考虑与信标轴倾角 $\tau$ 有关的极化损失修正。

由表1容易看出,当被测天线轴比为0.5 dB时,由于轴倾角的不确定极化损失按3 dB修正时造成的天线增益最大测试误差范围为 $-0.267\sim+0.233$  dB;轴比为1 dB时,测试误差在 $-0.54\sim+0.46$  dB之间。消除这一项测试误差的方法为:①在测试增益之前,先测试轴比和轴倾角 $\tau$ ,按 $10\lg F$  dB进行修正;②在工程应用中,圆极化馈源的激励线极化大多为水平或垂直极化,轴倾角约为 $45^\circ$ ,这时只要在测试时将线极化信标置于水平或垂直极化即可按3 dB进行修正;③从式(8)发现,若将线极化分别置于两个正交的方向测试两次,则两个功率匹配因子之和 $F_1+F_2=1$ ,表示可以按水平和垂直极化进行两次测试,结果相加即可消除极化失配测试误差。

4.2.2 天线辐射方向图测量分析

用线极化信标测试圆极化天线辐射方向图时,测量结果为

$$G(\theta)=F(\theta)G_0(\theta)$$

式中, $G_0(\theta)$ 为天线的真实功率方向图; $F(\theta)$ 为不同角度的极化匹配因子。

由于被测天线偏轴轴比变差,由此造成极化匹

配因子 $F$ 随偏离波束中心的角度 $\theta$ 变化,测试误差在 $F_{\max}$ 与 $F_{\min}$ 之间, $F(\theta)$ 变化范围很大,因此远角旁瓣测试误差较大。理论上仅当测试过程中 $\tau$ 始终与信标线极化夹角为 $45^\circ$ 时, $F(\theta)=3$  dB,与角度 $\theta$ 变化无关,测试结果可信。否则测试值可能偏大 $F_{\max}(\theta)-F_{\min}(0)$  dB,也可能偏小 $F_{\max}(0)-F_{\min}(\theta)$  dB。当天线轴向轴比 $\gamma$ 为0.5 dB时,极化不匹配造成远角旁瓣测试最不利情况有可能导致天线旁瓣测试结果升高3.267 dB(当天线的远角旁瓣由圆极化退化为线极化并与信标线极化一致时),无法得到入网许可,当然也有可能低几十分贝(当天线的远角旁瓣由圆极化退化为线极化并与信标极化正交时),因此测量圆极化天线的辐射方向图不能使用线极化信标,否则远角旁瓣测试误差较大。

另一种情况是线极化天线主极化辐射方向图测量采用圆极化信标,由于测试过程中圆极化信标的轴倾角与被测天线线极化夹角 $\Delta\tau$ 以及轴比 $\gamma$ 始终不变,不同角度的极化匹配因子 $F(\theta)$ 相同,但是交叉极化引入的正交分量要比采用线极化信标时至少高出3个数量级,而且无法测量天线的线极化交叉极化隔离度,因此也不能这样测试。

4.3 圆极化与圆极化的功率失配分析

圆极化应用的优点是不需要调整极化面,两种圆极化之间的功率传输效率因子 $F_{cc}$ 为

$$F_{cc}=\frac{1}{2}\left[1+\frac{(\gamma_1^2-1)(\gamma_2^2-1)}{(\gamma_1^2+1)(\gamma_2^2+1)}\cos 2\Delta\tau+\frac{4\gamma_1\gamma_2}{(\gamma_1^2+1)(\gamma_2^2+1)}\right] \quad (9)$$

$$F_{\max}=\frac{(\gamma_1\gamma_2+1)^2}{(\gamma_1^2+1)(\gamma_2^2+1)}, \quad \tau_1=\tau_2 \quad (10)$$
$$F_{\min}=\frac{(\gamma_1-\gamma_2)^2}{(\gamma_1^2+1)(\gamma_2^2+1)}, \quad \tau_1-\tau_2=90^\circ$$

当 $\gamma_1=\gamma_2=\gamma$ , $F_{\max}=1=0$  dB,表示轴倾角、轴比完全相同的两个圆极化没有功率传输损耗。 $F_{\min}$ 表示轴倾角正交时损失最大。表2列出几种不同情况下功率匹配因子 $F_{cc}$ 的计算结果。

表2 几种不同情况下功率匹配因子 $F_{cc}$ 的计算结果

$\gamma_1$ /dB	$\gamma_2$ /dB	$F_{\max}$ /dB	$F_{\min}$ /dB
0.5	0.5	0	-0.014
0.5	1	-0.004	-0.033
0.5	1.5	-0.014	-0.057
0.5	6	-0.376	-0.54
0.5	10	-0.91	-1.17
1.5	1.5	0	-0.13
3	3	0	-0.51
6	6	0	-1.926

上述数据表明,轴比较小时旋向相同的两个圆极化之间功率传输损失非常小。通信卫星的天线轴比一般小于 0.5 dB,因此采用圆极化轴比小于 0.5 dB 的地球站天线,相同旋向产生的轴向极化损失可以忽略不计。用比较法测试天线增益时,如果把测试用的信标天线和标准增益喇叭都做成轴比小于 0.5 dB 的圆极化,极化失配修正可以不予考虑。图 7 示出了  $F$  随轴比  $\gamma_2$  变化的范围。

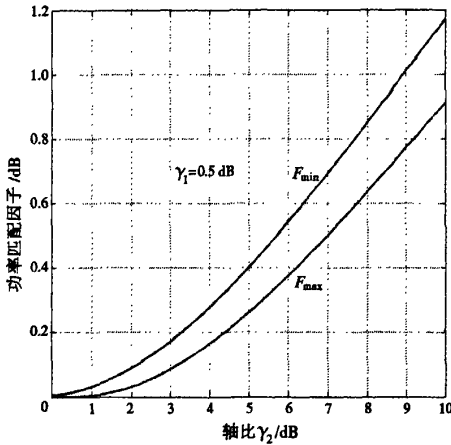


图 7 圆-圆极化的匹配

4.3.1 圆极化的理论极化隔离度

当极化 1 的轴比  $\gamma_1=1$  时,功率匹配因子  $F_0$  为

$$F_0 = \frac{(\gamma + 1)^2}{2(\gamma^2 + 1)} \tag{11}$$

式中,  $F_0$  与轴倾角无关。极化 2 轴比  $\gamma=1$  时,  $F_0=1$ ,表示两个相同旋向的理想圆极化之间功率传输效率 100%;极化 2 轴比  $\gamma=-1$  时,  $F_0=0$ ,表示两个旋向相反的理想圆极化之间功率传输效率为 0。衡量极化 2 隔离度指标的计算式为

$$XPI = \frac{F_0}{1 - F_0} = \left(\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}\right)^2 \tag{12}$$

当  $\gamma=0.5$  dB,  $XPI$  为 30.82 dB;当  $\gamma=1$  dB,  $XPI$  为 24.81 dB。

令  $\gamma = e^{2x}$ ,  $x = \ln\gamma/2$ , 则有  $XPI = \frac{\text{ch}^2 x}{\text{sh}^2 x}$ , 当  $\gamma < 1$  dB,  $x < 0.057\ 65$ ,  $\text{sh}^2 x \approx x^2$ ,  $\text{ch} x \approx 1$ , 式 (12) 近似为  $XPI \approx \frac{4}{\ln^2 \gamma}$ , 用分贝表示为

$$10\lg XPI = -10\lg \frac{\ln^2 \gamma}{4} \approx 24.8 - 20\lg(20\lg \gamma) \tag{13}$$

因此,在 Intelsat 的入网认证测试中给出的极化隔离度与轴比  $\gamma$  (dB) 的计算式为  $XPI=24.8-20\lg\gamma_{\text{dB}}$  dB。

实际上轴比  $\gamma \leq 3$  dB 时,式 (13) 与式 (12) 的误差很小。

4.3.2 极化失配对交叉极化隔离度的影响

当  $\gamma_1 = -\gamma_2 = \gamma$ , 表示两个旋向相反的圆极化,  $\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2 = 90^\circ$  时,  $F=0$ , 互为交叉极化且互相抵消;当  $\tau_1 = \tau_2$  时,  $F$  有最差值,表示两个圆极化的交叉极化隔离度随轴倾角变化叠加的最坏情况。可以用  $F_{XPI}$  表示为

$$F_{XPI} = \frac{(\gamma^2 - 1)^2}{(\gamma^2 + 1)^2} \tag{14}$$

当轴比  $\gamma \leq 3$  dB 时同样可以给出近似计算式为  $XPI = -10\lg F_{XPI} \approx 18.8 - 20\lg \gamma_{\text{dB}}$  dB。  $\gamma=0.5$  dB,  $XPI=24.81$  dB;与上述  $\gamma_1=1$  时的结果比较后发现极化隔离度变差了 6 dB,表示在工程测量中可能遇到的最坏测试结果,即 30.82 dB 的极化隔离度当  $\gamma_1 = -\gamma_2 = 0.5$  dB 时在实际测试中可能的结果范围为 24.81~ $\infty$  dB。由于在卫星法测试中信标的极化隔离度一般为 31 dB,轴倾角通常也不明确,而且对不同的地点也不一样,因此测试时 Intelsat 允许被测天线  $\gamma \leq 0.5$  dB 对应的最差测试极化隔离度可以适当放宽到 27.82 dB。图 8 给出当极化 1 轴比  $\gamma_1=0.5$  dB 时两个极化的隔离度  $XPI$  随轴比  $\gamma_2$  变化的取值范围。

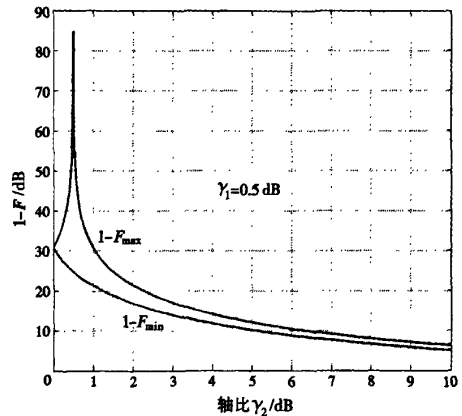


图 8  $XPI$  与轴比的关系

4.3.3 极化失配对方向图测量的影响

采用  $\gamma \leq 0.5$  dB 圆极化信标测试圆极化天线辐射方向图时,当被测天线偏轴远角轴比变差,  $F$  也随角度  $\theta$  变化,由表 2 可知,  $F(\theta) \leq F(0)$ ,极化不匹配造成远角旁瓣测试结果比正常值偏低。从

表1中 $\gamma_1 = 0.5\text{ dB}$ ,  $\gamma_2 = \infty\text{ dB}$ 对应的极化损失因子 $F$ 变化小于3.267 dB可知,最多低3.267 dB。显然比线极化信标法的精度高得多。

## 5 结论

任意两个极化波的匹配越好,功率传输效率越高,极化损失越小,天线的工作性能越好。对于天线测量而言,测量精度也越高。测量圆极化天线的辐射方向图不能使用线极化信标,否则远角旁瓣测试误差较大,有可能导致天线旁瓣升高3 dB以上,无法得到入网许可。同样,测量线极化天线的辐射方向图不能使用圆极化信标,而且线极化天线辐射方向图调试或测量之前应首先将线极化交叉极化隔离度调至最佳。

对于圆极化轴比小于0.5 dB的天线,利用卫星的圆极化信标测量同极化的轴向辐射特性时,由极化失配产生的测试误差可以忽略不计;交叉极化隔离度测试精度受测试信标与被测天线轴比和轴倾角的影响较大,测试结果的不确定性很大。

## 参考文献:

- [1] 毕德显,仇平,吴万春,等. 电磁场理论基础[M]. 西安:军事电信工程学院,1964:213-217.
- [2] Krause J D, Marhefka R J. 天线(下册)[M]. 章文勋,译. 3版,北京:电子工业出版社,2004:33-39.
- [3] 田唯人. 失配微波系统的圆极化轴比分析[J]. 飞行器测控学报,2007,26(4):51-56.

(上接第304页)

- [4] Michael L, Gerhard F. The Effects of Aperture Jitter and Clock Jitter in Wideband ADCs[J]. Computer Standards & Interfaces, 2007, 29(1):11-18.
- [5] 向敬成,张明友. 雷达系统[M]. 成都:电子科技大学出版社,1997:159-164.

## 作者简介:



唐 婷 女,1983年生,电子科技大学电子工程学院硕士研究生,研究方向为相控阵雷达中的资源管理和T/R组件系统仿真研究。

TIAN Wei-ren. Analysis of the Circular Polarization Axial Ratio in Mismatching Microwave Systems[J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2007, 26(4):51-56. (in Chinese)

- [4] 田唯人. 微波系统的圆极化轴比测量精度分析[J]. 飞行器测控学报,2007,26(5):28-32.

TIAN Wei-ren. Analysis of the Measurement Accuracy for Circular Polarization Axial Ratio of Microwave Antenna Systems[J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2007, 26(5):28-32. (in Chinese)

- [5] 毛乃宏,俱新德. 天线测量[M]. 北京:国防工业出版社,1987:180-192.
- [6] 田车攀,段玉虎,高富民. 天线交叉极化和线极化面偏离对方向图的影响[J]. 微波与卫星通信,1998,7(1):19-22.

## 作者简介:



田唯人 男,1963年生于陕西富平,高级工程师,1984年毕业于西北电讯工程学院,从事天线与微波技术研究,共发表论文20余篇。



李娟妮 女,1978年生于陕西礼泉,工程师,2002年毕业于西安电子科技大学,从事天线与微波技术研究。

何子述 男,1962年生,四川人,电子科技大学教授、博士生导师,先后从事相控阵技术、DBF及阵列信号处理、移动通信中的空时处理与分集技术等方面的研究工作,完成科研成果10余项(包括“863”项目2项),获电子部和四川省科技进步二等奖2项、三等奖1项,成都市科技进步一等奖1项,在国内外学术刊物或会议上发表论文40余篇。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>